



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 440 317 A1**

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 91250011.3

51 Int. Cl.⁵: G01N 29/04

22 Anmeldetag: 22.01.91

30 Priorität: 31.01.90 DE 4003215
21.01.91 DE 4101942

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.08.91 Patentblatt 91/32

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR IT

71 Anmelder: **MANNESMANN** Aktiengesellschaft
Mannesmannufer 2
W-4000 Düsseldorf 1(DE)

72 Erfinder: **Graff, Alfred, Dipl.-Phys.**
Viehauser Berg 83
W-4300 Essen 16(DE)
Erfinder: **Wächter, Michael, Dr.rer.nat.**
Am Kockshof 23
W-4030 Ratingen 8(DE)

74 Vertreter: **Presting, Hans-Joachim, Dipl.-Ing.**
et al
Meissner & Meissner Patentanwaltsbüro
Herbertstrasse 22
W-1000 Berlin 33(DE)

54 Verfahren und Prüfeinrichtungen zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen.

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Prüfeinrichtungen mit Magnetsystem zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen, wobei über ein an die Oberfläche (15) eines ferromagnetischen Werkstückes angelegtes, mit Wechselstrom erregtes Magnetsystem (10,11) ein alternierendes, parallel zur Oberfläche im Prüfkörper ausgerichtetes Magnetisierungsfeld ($B \sim$) erzeugt wird und im Bereich des Amplitudenmaximums der Magnetisierungsfeldstärke durch eine in der Nähe der Oberfläche des Werkstückes angeordnete Wandler-spule (14) Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden. Um ferromagnetische Werkstücke zum einen unter verschiedenen vorbestimmbaren Winkeln auf Fehlstellen prüfen und zum anderen alternativ dazu zusätzlich noch die Dicke des Werkstücks bestimmen zu können, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß ein vertikal zur Oberfläche des Werkstücks ausgerichtetes, mit dem Magnetsystem (13) erzeugtes Magnetfeld ($B \perp$) quasi-statischer Polarität erzeugt und im alternierenden Magnetisierungsfeld überlagert wird und daß unabhängig von einer angestrebten Einschallrichtung entweder nur im Bereich oberer oder nur im Bereich unterer Halbwellen des Wechselstromes Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden.

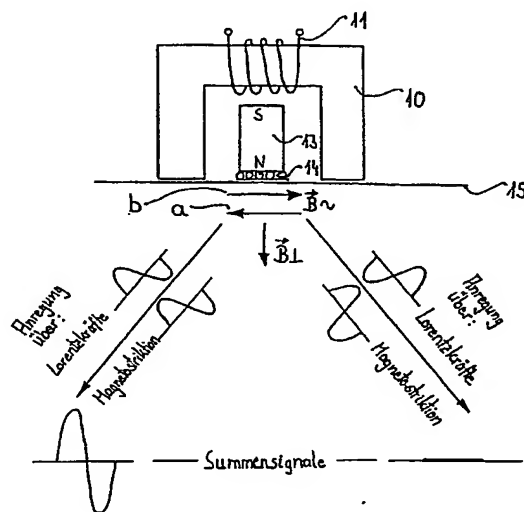


Fig. 3

EP 0 440 317 A1

VERFAHREN UND PRÜFEINRICHTUNGEN ZUM PRÜFEN FERROMAGNETISCHER WERKSTÜCKE MITTELS ULTRASCHALLWELLEN

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Prüfeinrichtungen mit Magnetsystem zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen, wobei über ein an die Oberfläche eines ferromagnetischen Werkstückes angelegtes, mit Wechselstrom erregtes Magnetsystem ein alternierendes, parallel zur Oberfläche im Prüfkörper ausgerichtetes Magnetisierungsfeld erzeugt wird und im Bereich des Amplitudenmaximums der Magnetisierungsfeldstärke durch eine in der Nähe der Oberfläche des Werkstückes angeordnete Wandler-spule Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden.

Der elektrodynamischen Erzeugbarkeit von Ultraschallwellen in elektrisch leitfähigen Materialien liegen drei Anregungsmechanismen zugrunde. Diese sind Magnetostriktion, Lorenzkräfte und magnetische Kräfte. In diesem Fall sind jedoch nur zwei Anregungsmechanismen wesentlich, nämlich die Ausnutzung der Lorenzkräfte und der Magnetostriktion.

Ein derartiges Verfahren ist aus der deutschen Patentschrift 30 17 389 bekannt. Hierbei wird in bekannter Weise ein mit einer Magnetspule versehenes Magnetjoch über Polschuhe an die Oberfläche des Prüfkörpers angelegt. Die mit Wechselstrom beaufschlagte Magnetspule erzeugt ein alternierendes Magnetisierungsfeld im Werkstück. Durch die Beaufschlagung der Wandlerdrähte mit Hochfrequenz-Sendeimpulsen werden in der Oberfläche des Werkstückes Wirbelströme induziert. Kraftwirkungen auf das Metallgitter, die durch Überlagerung des Magnetisierungsfeldes mit dem Wirbelstrom entstehen, führen zur Ultraschallanregung, wobei der Erzeugungsort der Ultraschallwellen somit die Werkstückoberfläche selbst ist. Die Detektion der an Reflexionsstellen im zu prüfenden Werkstück reflektierten Ultraschallwellen geschieht reziprok.

Durch die Verwendung eines alternierenden Magnetisierungsfeldes in dieser bekannten Anordnung werden die Magnetfeldlinien gemäß dem Skineffekt zur Oberfläche hin gedrängt. Daraus ergibt sich eine Erhöhung der Oberflächenfeldstärke am Erzeugungsort des Ultraschalls. Nachteilig bei diesem bekannten Verfahren ist, daß keine selektive Richtungseinschallung vorgenommen werden kann.

Aus der deutschen Patentschrift 35 11 768 ist im weiteren eine Ultraschallprüfeinrichtung mit einer Mehrzahl von Wandler-spulen und Magneten bekannt, mit der es möglich ist, in bestimmten Richtungen in das zu prüfende Material einzuschallen. Diese Technik bezeichnet man als phased-array-Technik und beruht auf dem Prinzip der Su-

perposition einzelner Wellen zu einer resultierenden Welle.

Das heißt, erst die Superposition der einzelnen von den verschiedenen Wandler-spulen erzeugten Wellen erzeugt als resultierende Welle dann die Ultraschallwelle der geeigneten Art. Dabei geht man so vor, daß jeweils das Senden und Empfangen von Ultraschallwellen über mehrere Sender und Empfänger mit gezielt phasenverschobener Erregung der Wandler erreicht wird, wobei die Phasenverzögerung der Erregung von einer Wandler-spule zur anderen genau bemessen sein muß, so daß die geeigneten Superpositionsbedingungen, d.h. gezielte konstruktive und destruktive Interferenz, entstehen.

Hierbei ist bekannterweise jeder Wandler einzeln anzusteuern und über eine zentrale Elektronik vor-zuwählen. Nachteilig hierbei ist, daß aufgrund der einzelnen Ansteuerung eines jeden Wandlers die Elektronik sehr aufwendig ist und daß zur Erzeugung einer einzigen Wellenfront im Prinzip alle Einzelelemente des Wandlers in Betrieb sind. Des weiteren ist nachteilig, daß auch hierbei im dynamischen Prüfbetrieb an den Störstellen je nach Bewegungsrichtung der Prüfeinrichtung über das zu prüfende Werkstück unterschiedlich hohe Ultraschallamplituden entstehen können. Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine konstruktiv einfache Prüfeinrichtung zu schaffen, mit dem bzw. mit der ferromagnetische Werkstücke zum einen unter verschiedenen vorbestimmbaren Winkel auf Fehlstellen geprüft und zum anderen alternativ dazu zusätzlich noch die Dicke des Werkstückes bestimmt werden kann. Die gestellte Aufgabe wird bei einem Verfahren der gattungsgemäßen Art dadurch gelöst, daß ein vertikal zur Oberfläche des Werkstückes ausgerichtetes Magnetfeld quasi-statischer Polarität erzeugt und dem alternierenden Magnetisierungsfeld überlagert wird und daß abhängig von einer angestrebten Einschallrichtung entweder nur im Bereich oberer oder nur im Bereich unterer Halbwellen des Wechselstromes Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden. Die sich daraus ergebenden Vorteile sind zum einen, daß eine hohe Ultraschallintensität erreicht wird und zum anderen je nachdem, ob im Bereich der oberen oder der unteren Halbwellen des Wechselstromes Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden, die Einschallrichtung festgelegt werden kann. Durch die erfindungsgemäß vorgeschlagene Einbringung eines Magnetisierungsfeldes, welches horizontal zur Prüfoberfläche liegt, und eines diesem überlagerten senkrecht zur Oberfläche ausgerichteten Magnetfeldes quasi-stati-

scher Polarität bewirkt, daß mit ein und demselben Wandler vertikal polarisierte Transversalwellen angeregt werden, die dann richtungsselektiv in den Prüfkörper einschallt werden können. Aus dem Patent Abstract of Japan Vol. 7 No. 73 vom 25.03.83 und aus dem Patent Abstract of Japan Vol. 12 No. 334 vom 08.09.88 ist es bekannt, daß durch die Überlagerung zweier senkrecht zueinander gerichteter Magnetfelder Ultraschallwellen unterschiedlicher Wellenmoden erzeugt werden. Diese Erzeugung unterschiedlicher Wellenmoden ist jedoch bei der vorliegenden Erfindung gerade vermieden; bei der vorliegenden Erfindung werden gezielt vertikal polarisierte Transversalwellen erzeugt.

Das heißt, daß in diesem Falle eine richtungsselektive Einschallung erst durch das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren ermöglicht ist. Im weiteren ist es vorteilhaft, daß dadurch unabhängig von der Bewegungsrichtung der Prüfeinrichtung bezüglich der Werkstückoberfläche, d. h. z. B. in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung an einer gegebenen Störstelle im zu prüfenden Werkstück die gleiche Echoamplitude entsteht. Dabei führt die als erfindungsgemäß vorgeschlagene Maßnahme, daß abhängig von einer angestrebten Einschallrichtung entweder nur im Bereich oberer oder nur im Bereich unterer Halbwellen des Wechselstromes HF Sendeimpulse ausgelöst werden, erst in Verbindung mit der erfindungsgemäß genannten Überlagerung zweier Magnetfelder dazu, daß vertikal polarisierte Transversalwellen gezielt in ihrer Einschallrichtung vorgewählt werden können.

Diese o.g. vorteilhaften Konsequenzen beziehen sich dabei natürlich in analoger Weise auf die Erzeugung von Oberflächenwellen.

In weiterer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das vertikal zur Oberfläche des Werkstückes ausgerichtete Magnetfeld mit quasi-statischer Polarität und das alternierende Magnetisierungsfeld in seiner Feldstärke variabel gehalten. Dies ermöglicht eine optimale Anpassung an unterschiedliche zu prüfende Werkstücke. Es erweist sich als vorteilhaft, das erfindungsgemäße Verfahren dahingehend auszugestalten, daß der Wechselstrom in seinem Verlauf jeweils zwischen Nulldurchgang und nachfolgendem Amplitudenmaximum in mindestens zwei stetig ineinander übergehende Teilbereiche unterschiedlicher, aber jeweils konstanter Steigung unterteilt ist und daß entweder im Bereich der betragsmäßig kleinsten Steigung oder im Übergangsbereich zur betragsmäßig kleinsten Steigung hin Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden.

Der sich daraus ergebende Vorteil besteht darin, daß in diesen benannten Teilbereichen des Wechselstromes ein die Ultraschallsignale beeinträchtigendes Rauschen minimal ist. Ein solches

Rauschen entsteht durch Ummagnetisierungsprozesse, die vom alternierenden Magnetisierungsfeld bewirkt werden und als Barkhausen-Rauschen bezeichnet werden. Das Barkhausen-Rauschen setzt schon bei geringen magnetischen Induktionen ein, d. h. im Bereich der Nulldurchgänge des Wechselstromes bzw. der Magnetisierungsfeldstärke. Mit wachsender Induktion nimmt das Barkhausen-Rauschen stark ab und ist beim Erreichen maximaler Feldstärken bzw. maximaler Induktionen, in denen dann auch die hochfrequenten Sendeimpulse gesendet werden, minimal. In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung werden durch die Anpassung der Frequenz des Hochfrequenz-Sendeimpulses an die Wandlergeometrie im zu untersuchenden Werkstück vorwiegend Transversalwellen unter vorbestimmten Winkeln erzeugt. In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden durch die Anpassung der Frequenz der Hochfrequenz-Sendeimpulse an die Wandlergeometrie im zu untersuchenden Werkstück vorwiegend Oberflächenwellen erzeugt bzw. ermöglicht. Die Erzeugung von Oberflächenwellen hat dabei den Vorteil, daß z. B. Werkstücke mit umlaufend geschlossener Oberfläche, z.B. Rohre auf Oberflächenfehler untersucht werden können.

Auf diese verfahrenstechnischen Maßnahmen ist eine erste Prüfeinrichtung, bestehend aus einem Magnetjoch und einer zwischen den Polschuhen des Magnetjoches angeordneten Wandlerpule nach der weiteren Erfindung abgestimmt, indem zwischen den Polschuhen ein das vertikale Magnetfeld erzeugender Magnet angeordnet ist. In vorteilhafter Ausgestaltung dieser erfindungsgemäßen Prüfeinrichtung ist der das vertikale Magnetfeld erzeugende Magnet wahlweise ein Permanentmagnet oder ein Elektromagnet.

Eine weitere Prüfeinrichtung zur Durchführung der verfahrenstechnischen Maßnahmen, bestehend aus einer Mehrzahl von Wandlerpulsen und einer Mehrzahl von miteinander verbindbaren Magnetjochen ist erfindungsgemäß derart gestaltet, daß die einzelnen Magnetjoches sternförmig um ein gemeinsames zentrales Jochstück angeordnet und gerade Begrenzungslinien bildend mit demselben verbunden sind, daß mindestens zwei der einzelnen Magnetjoches unmittelbar benachbart und in einer Ebene liegend um jeweils einen Winkel von 45 Grad zueinander versetzt angeordnet sind, daß jeweils zwischen Polschuh des Magnetjoches und dem Polschuh des zentralen Jochstückes ein das vertikale Magnetfeld erzeugender Magnet und eine Hochfrequenz-Sendeimpulse auslösende Wandlerpule angeordnet ist und daß unter dem Polschuh des zentralen Jochstückes eine zusätzliche Wandlerpule angeordnet ist.

In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist die Wandlerpule eben und mäander-

5

EP 0 440 317 A1

6

förmig ausgebildet, und die zusätzliche Wandler-
spule besteht aus einer ebenen Empfangsspule
und einer ebenen Sendespule, die spiralförmig
ausgebildet und konzentrisch angeordnet sind.
Hierbei ergibt sich der Vorteil, daß innerhalb einer
einzigsten Prüfeinrichtung dieser Art die Möglichkeit
der Schräg-, Längs- und Querfehlerprüfung und
zusätzlich die Messung der Wanddicke des Werk-
stückes gegeben ist.

Auch hierbei sind die vertikale Magnetfelder
erzeugenden Magnete wahlweise als Permanent-
oder Elektromagnete ausgestaltet.

In weiterer Ausgestaltung dieser erfindungsge-
mäßigen Prüfeinrichtung sind die einzelnen Magnet-
joche über Gelenke magnetisch leitend mit dem
gemeinsamen zentralen Jochstück verbunden.
Hieraus ergibt sich der Vorteil, daß sich die Prüf-
einrichtung unabhängig von der Topographie des
Werkstückes optimal anlegt.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung einer
mehrzähligen Anordnung von Magnetjochen ist,
daß das Magnetsystem aus vier Magnetjochen mit
dem jeweiligen Magneten und der jeweiligen
Wandlerspule besteht.

Insgesamt zeigt sich, daß die nach dem erfin-
dungsgemäßen Verfahren arbeitenden Prüfeinrich-
tungen einfach gestaltet sind und auch ohne auf-
wendige Elektronik zu steuern sind.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sowie die
durch die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maß-
nahmen erzeugten physikalischen Anregungsprinzi-
pien sind in der Zeichnung dargestellt und nachfol-
gend näher beschrieben.

Es zeigen:

Figur 1 Darstellung: Wechselstrom-, Wech-
selspannungsverläufe, Barkhausen-
Rauschen

Figur 2 Darstellung: Wechselstromverlauf,
Signalauslösung, Barkhausen-Rau-
schen

Figur 3 Anregungsmechanismus
(schematisch)

Figur 4 Prüfeinrichtung mit einfachem Ma-
gnetsystem

Figur 5 Prüfeinrichtung mit mehrzähligen
Magnetsystem

Figur 6 Schnittdarstellung des in Figur 5
dargestellten Magnetsystems

Figur 7a Mäanderspule

Figur 7b Wanddickenspule

Figur 1 zeigt einen der möglichen verfahrens-
mäßigen Wechselstromverläufe B in Zusammen-
hang mit dem dazugehörigen Wechselspannungs-
verlauf C und dem dadurch bewirkten Barkhausen-
Rauschen A. Die obere Halbwellen des Wechsel-
stromverlaufes B zeigt zwischen dem ersten Null-
durchgang und dem nachfolgenden Amplitudenma-
ximum zwei deutlich voneinander unterscheidbare

Bereiche unterschiedlicher aber jeweils konstanter
Steigung. Dabei ist zu erkennen, daß diese Teilbe-
reiche stetig ineinander übergehen. In den Berei-
chen hoher Ummagnetisierungsarbeit, d. h. in den
Nulldurchgängen des Wechselstromes, nimmt das
Barkhausen-Rauschen A maximale Intensitäten an.
Das Barkhausen-Rauschen A ist dagegen minimal,
wenn im Wechselstromverlauf der Bereich der be-
tragsmäßig kleinsten Steigung erreicht wird. Eine
Signalauslösung in diesem Bereich erweist sich
deshalb als vorteilhaft.

Figur 2 zeigt die Darstellung einer der mögli-
chen verfahrensmäßigen Signalauslösezeiten des
Hochfrequenz-Sendeimpulses D in Zusammenhang
mit einem der möglichen verfahrensmäßigen
Wechselstromverläufe und dem erzeugten
Barkhausen-Rauschen A. Der Bereich der kleinsten
Steigung des Wechselstromverlaufes B ist hierbei
betragsmäßig nahezu vom Wert Null. Das sich
daraus ergebende Barkhausen-Rauschen A ist über
diesen benannten Bereich hin minimal. Der
Hochfrequenz-Sendeimpuls D ist in dieser Darstel-
lung im Übergangsbereich des Wechselstromver-
laufes zur kleinsten Steigung hin ausgelöst worden.
Ferner ist in dieser gewählten Darstellung der
durch eine Störstelle bewirkte Echoimpuls E zu
erkennen, der bezüglich des Hochfrequenz-Sen-
deimpulses D, um einen von der Laufzeit der Ultra-
schallwellen abhängigen Betrag verschoben, detek-
tiert wird.

Allgemein ergibt sich aus dem dargestellten
Verfahren, daß im Bereich der oberen Halbwellen
des Wechselstromverlaufes die Richtung des Ma-
gnetisierungsfeldes entsprechend der Geometrie
der Prüfeinrichtung vorgegeben wird. Während der
unteren Halbwellen des Wechselstromverlaufes ist
dann die Richtung des Magnetisierungsfeldes der
während der oberen Halbwellen vorgegebenen
Richtung antiparallel. Die Auswahl der Phasen er-
möglicht somit eine selektive Richtungseinschal-
tung, je nachdem, ob nur in den Phasen der ope-
ren Halbwellen oder in den Phasen der unteren
Halbwellen Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst
werden.

Figur 3 zeigt in schematischer Darstellung die
bei dem erfindungsgemäß vorgeschlagenen Ver-
fahren erzeugten Wellen im zu prüfenden Werk-
stück. Durch die dargestellte Geometrie, d.h. das
durch das Magnetjoch 10 und die Spule 11 erzeug-
te alternierende Horizontalfeld B_{\sim} in der Werk-
stückoberfläche 15 und das diesem überlagerten
statischen Magnetfeld B_{\perp} , hervorgerufen durch
den Magnet 13, werden nach Auslösen des HF-
Sendeimpulses mittels des Wandlers 14 je nach
momentaner Ausrichtung des Horizontalfeldes B_{\sim}
durch konstruktive und destruktive Interferenz ent-
weder Ultraschallwellen in Vorwärts- oder in Rück-
wärtsrichtung erzeugt. Die Bedingung dafür, ob in

Vorwärtsrichtung (linke Bildhälfte) oder in Rückwärtsrichtung (rechte Bildhälfte) Ultraschallwellen erzeugt werden, liegt dabei physikalisch wie folgt begründet.

Bei elektrodynamischer Anregung entstehen Ultraschallwellen durch drei verschiedene Anregungsmechanismen, wobei in diesem Falle zwei davon wesentlich sind, und zwar Magnetostriktion und Lorenzkräfte. Beim Auslösen des HF-Sendeimpulses werden Ultraschallwellen zunächst in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung im Werkstück erzeugt, unabhängig davon, wie das Horizontalfeld gerade orientiert ist. Hierbei stellt sich nun die Frage, wie es möglich ist, daß trotzdem in Abhängigkeit von der Horizontalfeldmagnetisierung die Einschallrichtung gezielt vorgewählt werden kann. Dies läßt sich wie folgt erklären: Legt man für den Moment des Ultraschallerzeugens eine gegebene Horizontalfeldorientierung zugrunde und definiert eine Vorwärts- und eine Rückwärtsrichtung, so gilt folgendes. Die in Vorwärtsrichtung laufenden durch Magnetostriktion erzeugten Wellen haben gegenüber den in Rückwärtsrichtung über Magnetostriktion erzeugten Wellen eine Phasenverschiebung von 180° . Dahingegen besteht zwischen den Wellen, die über Lorenzkräfte erzeugt werden, in Vorwärtsrichtung gegenüber der Rückwärtsrichtung keine Phasenverschiebung. Da in beiden Richtungen jeweils sowohl Wellen über Lorenzkräfte als auch Wellen über Magnetostriktion erzeugt werden, kommt es in beiden Einschallrichtungen auch zu unterschiedlichen Überlagerungen der einzelnen Wellen. Das heißt in einer Richtung ist die Überlagerung konstruktiv und in der anderen destruktiv. Dies liegt daran, daß wie erfindungsgemäß vorgeschlagen, dem horizontalen Wechselfeld ein statisches vertikales Feld überlagert wird. Dieses statische vertikale Feld ist auch durch ein zum horizontalen Wechselfeld synchronisiertes vertikales Wechselfeld ersetzbar. Wichtig ist dabei nur, daß das vertikale Feld im Moment der Erzeugung bzw. Detektion von Ultraschall quasi statisch ist.

Da die richtungselektive Erzeugung von Ultraschall bei der vorliegenden Erfindung nicht trivial ist, dient zur Veranschaulichung folgendes Beispiel:

Befindet sich das Horizontalfeld B_H während des Auslösens des HF-Sendeimpulses in der Orientierung nach Pfeil a, so werden Transversalwellen über Lorenzkräfte erzeugt, die in Vorwärtsrichtung (linke Bildhälfte) phasengleich mit den über Magnetostriktion erzeugten Transversalwellen sind. Durch diese Gleichphasigkeit kommt es zu einer konstruktiven Überlagerung der Wellen und es entsteht eine starke Transversalwelle, die als Summensignal in Vorwärtsrichtung ins Werkstück läuft. Gleichzeitig werden in diesem Augenblick aber auch in Rückwärtsrichtung (rechte Bildhälfte) Transversalwellen über Magnetostriktion erzeugt,

die jedoch gegenüber der über Magnetostriktion erzeugten Wellen der Vorwärtsrichtung um 180° phasenverschoben sind. Da die über Lorenzkräfte erzeugten Wellen keine Phasenverschiebung gegenüber der in Vorwärtsrichtung erzeugten aufweisen, liegt hier zwischen den beiden Wellenarten (Lorentz-, Magnetostriktiv-) in Rückwärtsrichtung eine Phasenverschiebung von 180° vor, so daß eine destruktive Überlagerung entsteht, wobei sich somit die Wellen in Rückwärtsrichtung gegeneinander aufheben. Das heißt, das Summensignal ist in Rückwärtsrichtung Null.

Ist nun die Horizontalfeldmagnetisierung während des Augenblickes des Aussendens des HF-Sendeimpulses in entgegengesetzter Richtung, d.h. in Richtung von Pfeil b orientiert, so ist der Vorgang entsprechend reziprok und es entsteht eine Einschallung in Rückwärtsrichtung, wobei die Vorwärtsrichtung in entsprechender Weise zu null interferiert.

Figur 4 zeigt eine der erfindungsgemäßen Prüfeinrichtungen mit einem einfachen Magnetsystem. Das mit Spulen 11 versehene Magnetjoch 10 liegt über seine Polschuhe an der Werkstückoberfläche 15 an. Zwischen den beiden Polschuhen 12, 12' ist die erfindungsgemäße Anordnung eines zusätzlichen Magneten 13 mit der darunter angeordneten Wandlerspule 14 dargestellt. Der zusätzliche Magnet 13 erzeugt dabei das vertikal zur Oberfläche des Werkstückes ausgerichtete Magnetfeld statischer Polarität, welches dem über die Polschuhe 12, 12' in die Werkstückoberfläche 15 eingekoppelten alternierenden Magnetisierungsfeld überlagert wird.

Figur 5 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Prüfeinrichtung mit mehrzähligen Magnetsystem. Die dort dargestellte Draufsicht zeigt, daß vier einzelne Magnetsysteme mit einem Winkel von jeweils 45° zueinander um das zentrale Jochstück 25 angeordnet sind. Jedes einzelne Magnetsystem besteht dabei aus einem Magnetjoch 20, einer Spule 21, einem zusätzlichen Magneten 23 und einer prüfseitig befindlichen Wandlerspule 24. Die einzelnen Magnetsysteme erzeugen jedes für sich ein alternierendes Magnetisierungsfeld mit dem dazu überlagerten statischen Magnetfeld und ermöglichen durch ihre räumliche Anordnung die Kombination von Quer-, Schräg- und Längsfehlerprüfung. Die Wandlerspule 26 ermöglicht noch eine elektrodynamische Wanddickenprüfung in bekannter Anordnung. Dabei ist die Wandlerspule 26 als Rundspule ausgebildet.

Figur 6 zeigt die in Figur 4 dargestellte Prüfeinrichtung in einem Schnitt entlang der Achse X. Hierbei ist nun auch die genaue Lage der zusätzlichen Wandlerspule 26 unterhalb des zentralen Jochstückes 25 zu erkennen. Das jeweilige alternierende Magnetisierungsfeld wird in jedem einzel-

nen Magnetsystem über den einen Polschuh 22 eines jeden Magnetjoches 20 (in Figur 4 Position 20, 20', 20''...) und über den Polschuh 27 des gemeinsamen zentralen Jochstückes 25 in die Werkstückoberfläche 15 eingebracht. Die magnetisch leitende Verbindung zwischen den einzelnen Magnetjochen 20, 20', 20''... und dem zentralen Jochstück 25 wird über jeweils ein Gelenk 28 verwirklicht. Ein jedes Magnetsystem ist dabei mit Spulen zur Erzeugung des Magnetisierungsfeldes versehen.

Figur 7a zeigt eine Wandlerspule, wie sie beispielsweise bei einer Ausführung nach Figur 4 bzw. 5 Verwendung findet. Die Wandlerdrähte liegen dabei mäanderförmig zueinander. Figur 7b zeigt eine Spulenanordnung, die für die Messung der Wanddicke geeignet ist. Hierbei handelt es sich um zwei konzentrisch spiralförmig laufende Spulen, die einem rechteckförmigen Grundformat folgen. Dabei ist die äußere Spule vorzugsweise die Sendespule (26b) und die innere Spule die Empfangsspule (26a).

Es wäre auch denkbar, eine Prüfeinrichtung zur ausschließlichen Messung der Wanddicke so auszugestalten, wie es Figur 4 zeigt, wobei die Wandlerspule 14 dann wie die in Figur 7 b dargestellte Wanddickenspule 26 ausgebildet ist. Hierbei ist dann nach dem erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren vorzugehen, wobei eine sehr hohe Ultraschallamplitude bei der Senkrechteinschallung zur Wanddickenprüfung entsteht. Die Messung der Wanddicke durch Senkrechteinschallung ist zwar an sich bekannt, jedoch nur entweder mit horizontaler oder nur mit vertikaler Magnetisierung. Erst die erfindungsgemäß vorgeschlagene Kombination von Horizontalfeld- und Vertikalfeld-Magnetisierung gestattet gerade bei der Senkrechteinschallung eine extrem hohe Ultraschallamplitude. Diese Ultraschallamplitude ist sogar größer als die Summe der Ultraschallamplituden bei horizontaler Wechselfeld- und bei Vertikalfeldmagnetisierung. Das heißt, bei der Senkrechteinschallung sind die beiden Einzelkomponenten (Schallkomponenten aus vertikaler und horizontaler Magnetisierung) wesentlich kleiner als das Gesamtsignal. Bei optimaler Einstellung kann das Gesamtsignal durchaus eine Größenordnung größer sein als das Signal bei ausschließlich statischer Vertikalfeldmagnetisierung vergleichbarer Oberflächenfeldstärke.

Insgesamt ergeben sich für die Prüfeinrichtungen, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeiten, die Vorteile, daß sie leicht über die zu prüfende Werkstückoberfläche bewegt werden können und daß insbesondere bei der Ausführung der Prüfeinrichtung mit mehrzähligen Magnetsystem eine optimale Anlage an die Werkstückoberfläche gewährleistet ist, wodurch die Ultraschallenergien optimal eingebracht werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen, wobei über ein an die Oberfläche des Werkstückes angelegtes, mit Wechselstrom erregtes Magnetsystem ein alternierendes, parallel zur Oberfläche im Werkstück ausgerichtetes Magnetisierungsfeld erzeugt wird und im Bereich maximaler Magnetisierungsfeldstärke durch eine in der Nähe der Oberfläche des Werkstückes angeordnete Wandlerspule Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein vertikal zur Oberfläche des Werkstückes ausgerichtetes Magnetfeld quasi-statischer Polarität erzeugt und dem alternierenden Magnetisierungsfeld überlagert wird und daß abhängig von einer angestrebten Einschallrichtung entweder nur im Bereich oberer oder nur im Bereich unterer Halbwellen des Wechselstromes Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden.
2. Verfahren zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß das vertikal zur Oberfläche des Werkstückes ausgerichtete Magnetfeld mit quasi-statischer Polarität und das alternierende Magnetisierungsfeld in ihren Feldstärken variabel gehalten werden.
3. Verfahren zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen nach den Ansprüchen 1 und 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Wechselstrom in seinem Verlauf jeweils zwischen Nulldurchgang und nachfolgendem Amplitudenmaximum in mindestens zwei stetig ineinander übergehende Teilbereiche unterschiedlicher, aber jeweils konstanter Steigung unterteilt ist und daß entweder im Bereich der betragsmäßig kleinsten Steigung oder im Übergangsbereich zur betragsmäßig kleinsten Steigung hin die Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden.
4. Verfahren zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen nach den Ansprüchen 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß durch die Anpassung der Frequenz des Hochfrequenz-Sendeimpulses an die Wandlergeometrie, im zu untersuchenden Werkstück vorwiegend Transversalwellen unter vorbe-

11

EP 0 440 317 A1

12

stimmten Winkeln erzeugt werden.

5. Verfahren zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen nach den Ansprüchen 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß durch die Anpassung der Frequenz des Hochfrequenz-Sendeimpulses an die Wandlergeometrie, im zu untersuchenden Werkstück vorwiegend Oberflächenwellen erzeugt werden.
6. Prüfeinrichtung mit Magnetsystem zur Durchführung des Verfahrens zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen nach Anspruch 1, bestehend aus einem Magnetjoch und einer zwischen den Polschuhen des Magnetjoches angeordneten Wandler-
spule,
dadurch gekennzeichnet,
daß zwischen den Polschuhen (12,12') ein das vertikale Magnetfeld erzeugender Magnet (13) angeordnet ist.
7. Prüfeinrichtung mit Magnetsystem zur Durchführung des Verfahrens zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen nach Anspruch 1, bestehend aus einer Mehrzahl von Wandler-
spulen und einer Mehrzahl von miteinander verbindbaren Magnetjochen,
dadurch gekennzeichnet,
daß die einzelnen Magnetjoch-
(20,20',20'') sternförmig um ein gemeinsames zentrales Jochstück (25) angeordnet und gerade Begrenzungs-
linien bildend mit demselben verbunden sind, daß mindestens zwei der einzelnen Magnetjoch-
(20,20'...) unmittelbar benachbart und in einer Ebene liegend um jeweils einen Winkel von 45 Grad zueinander versetzt angeordnet sind, daß jeweils zwischen Pol-
schuh (22...) des Magnetjoches (20,20'...) und Pol-
schuh (27) des zentralen Jochstückes (25) ein das vertikale Magnetfeld erzeugender Magnet (23,23'...) und eine Hochfrequenz-Sendeimpulse auslösende Wandler-
spule (24,24'...) angeordnet ist und daß unter dem Pol-
schuh (27) des zentralen Jochstückes (25) eine zusätzliche Wandler-
spule (26) angeordnet ist.
8. Prüfeinrichtung mit Magnetsystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Wandler-
spule (14,24,24'...) eben und mäanderförmig ausgebildet ist.
9. Prüfeinrichtung mit Magnetsystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche

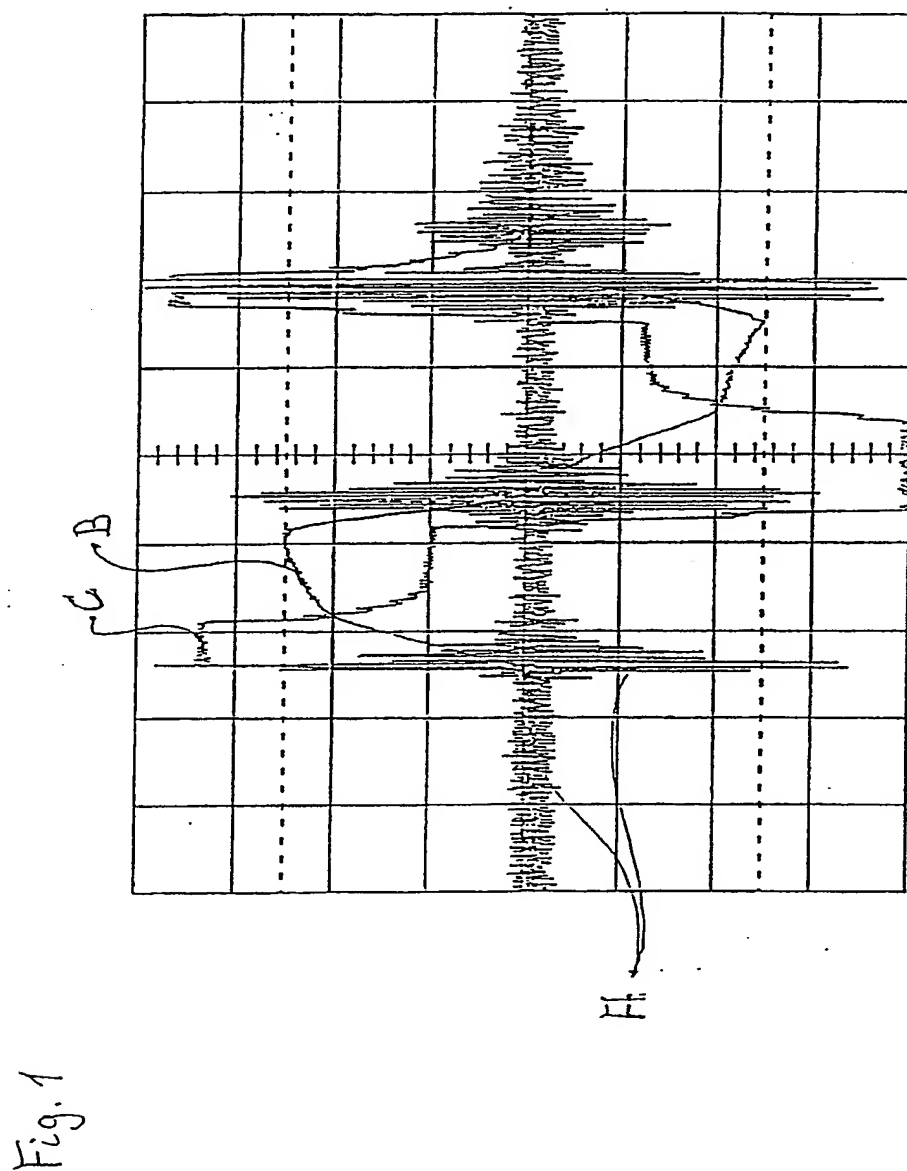
che,

dadurch gekennzeichnet,

daß die zusätzliche Wandler-
spule aus einer ebenen Empfangsspule (26a) und einer ebenen Sendespule (26b) besteht, die spiralförmig ausgebildet und konzentrisch angeordnet sind.

10. Prüfeinrichtung mit Magnetsystem nach den Ansprüchen 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß der bzw. die Magnete (13,23,23'...) Permanentmagnete sind.
11. Prüfeinrichtung mit Magnetsystem nach den Ansprüchen 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß der bzw. die Magnete (13,23,23'...) Elektromagnete sind.
12. Prüfeinrichtung mit Magnetsystem nach den Ansprüchen 7 - 9 und einem der Ansprüche 10 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
daß die einzelnen Magnetjoch-
(20,20'...) jeweils über Gelenke (28...) magnetisch leitend mit dem gemeinsamen zentralen Jochstück (25) verbunden sind.
13. Prüfeinrichtung mit Magnetsystem nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Magnetsystem aus vier Magnetjochen (20,20'...) mit dem jeweiligen Magneten (23,23'...) und der jeweiligen Wandler-
spule (24,24'...) besteht.

EP 0 440 317 A1



EP 0 440 317 A1

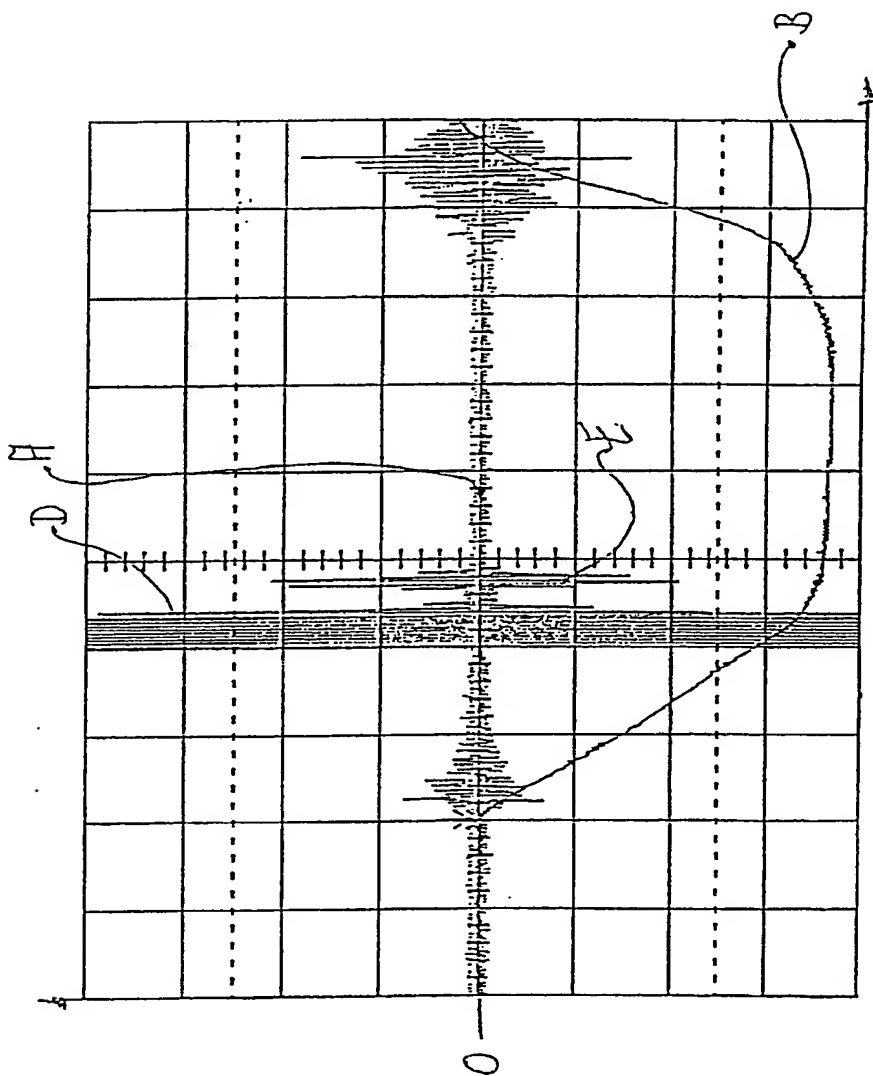


Fig. 2

EP 0 440 317 A1

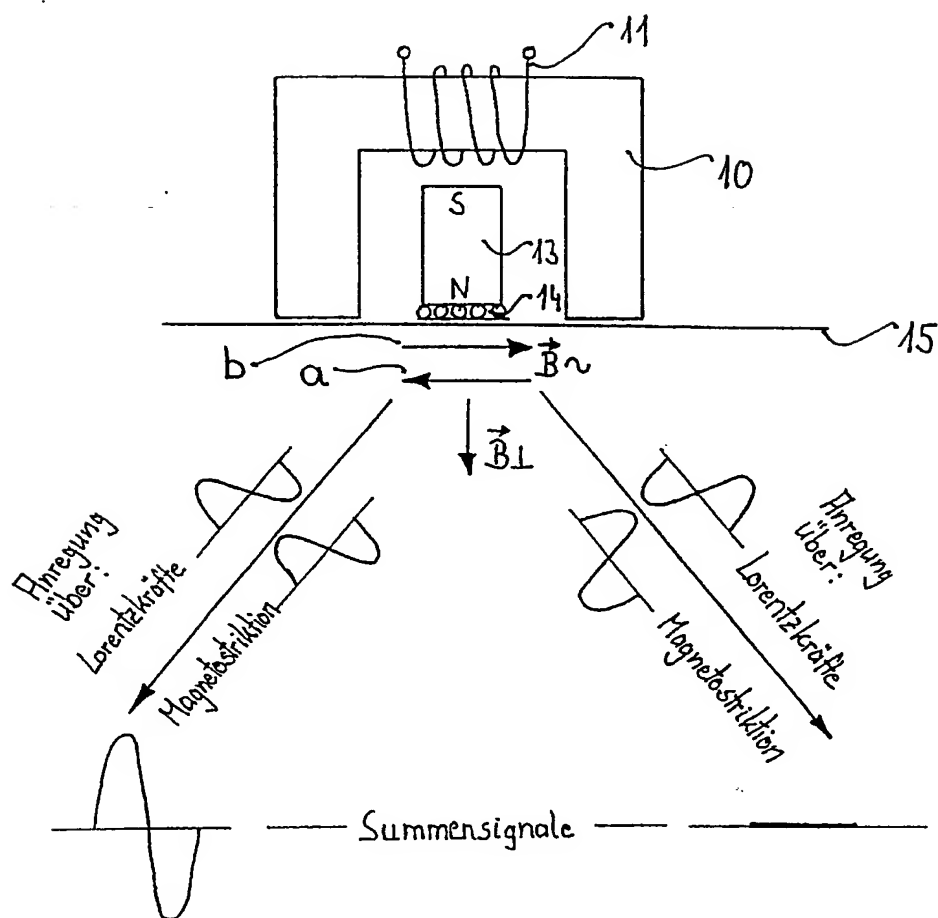


Fig. 3

EP 0 440 317 A1

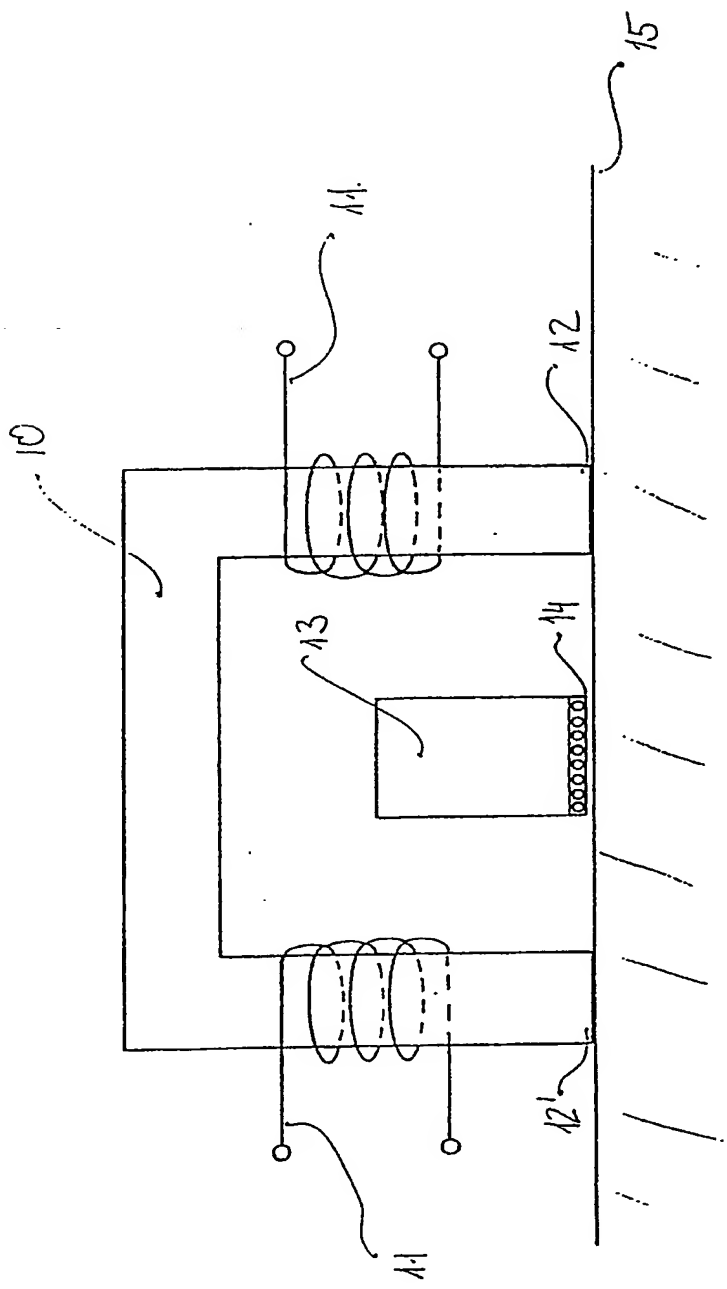
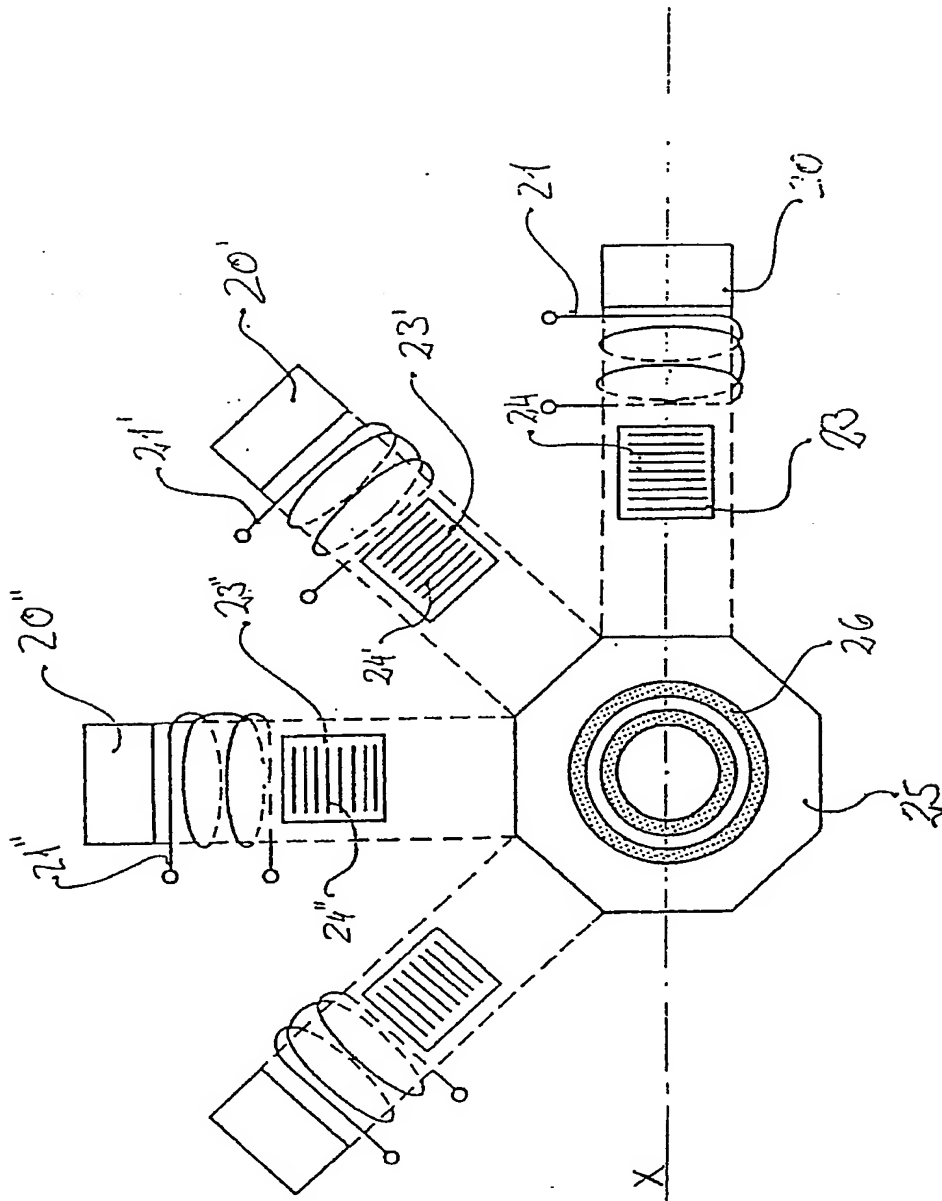


Fig. 4

EP 0 440 317 A1



EP 0 440 317 A1

Schnitt x

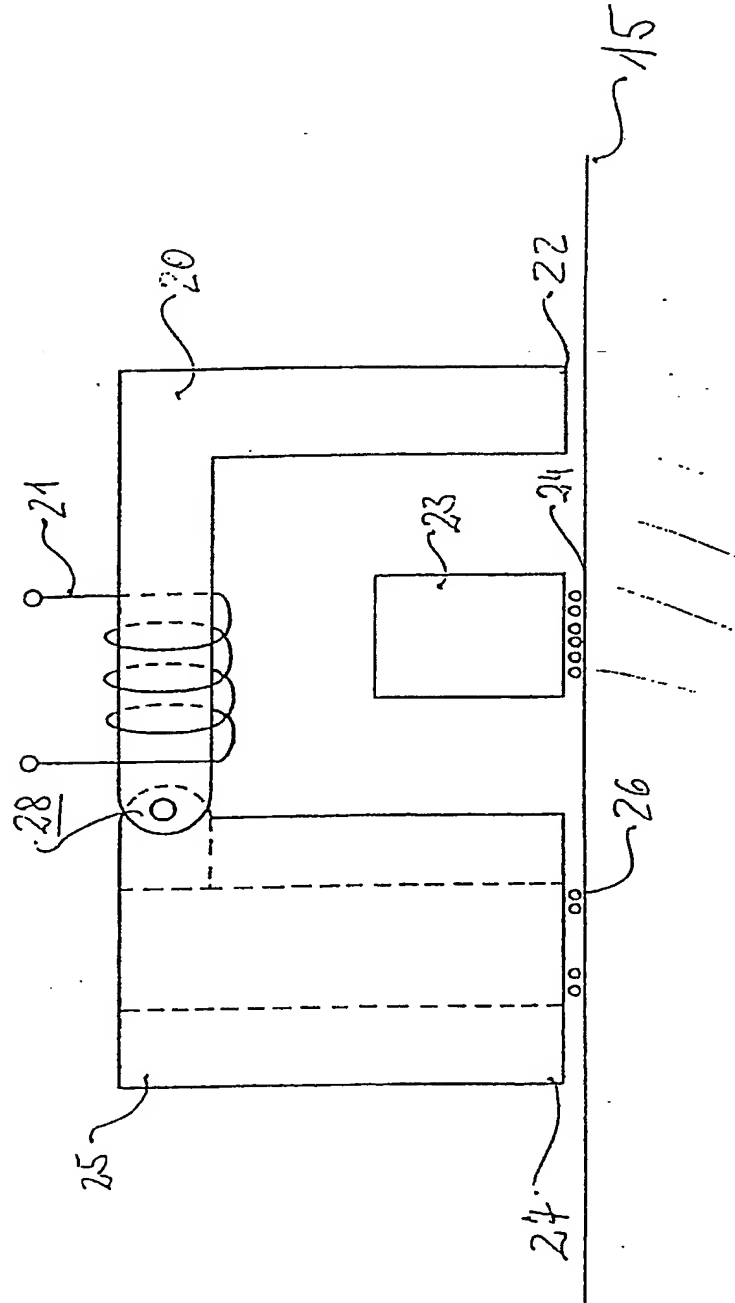


Fig. 6

EP 0 440 317 A1

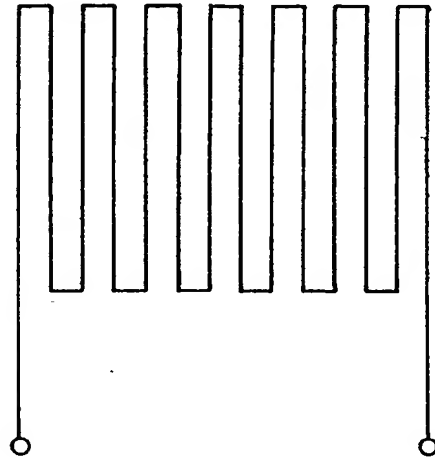


Fig. 7a

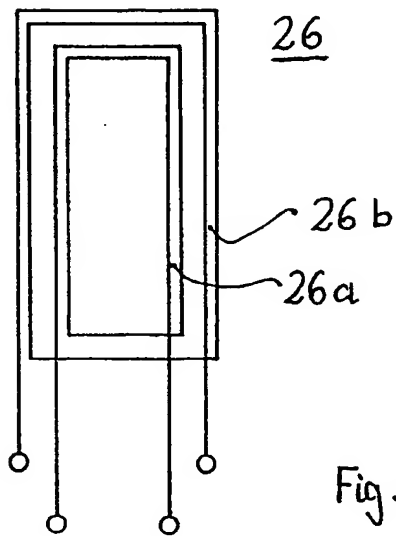


Fig. 7b



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 91250011.3

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)
D, A	DE - C2 - 3 017 389 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT) * Gesamt *	1, 6	G 01 N 29/04.
A	SOVIET INVENTIONS ILLUSTRATED, Parts I-III Complete, Woche X 15, 19. Mai 1976 DERWENT PUBLICATIONS LTD., London, M 21 * SU-466-930 (NIKOGORENKO ZH G) *	1, 6	
A	US - A - 4 295 214 (THOMPSON) * Zusammenfassung; Fig. 1 *	1, 6	
A	US - A - 4 380 931 (FROST) * Zusammenfassung; Fig. 1 *	1, 6	
A	US - A - 3 583 213 (HOUCK) * Zusammenfassung; Fig. 1 *	1, 6	
A	US - A - 4 395 913 (PETERSON) * Zusammenfassung; Fig. *	1, 6	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. 4)
			G 01 N G 01 B
Recherchenort WIEN		Abschlußdatum der Recherche 16-04-1991	Prüfer NARDAI

EP-A Form 1203 (3.12.82)

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN
 X von besonderer Bedeutung allein betrachtet
 Y von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
 A technologischer Hintergrund
 O mündliche Offenbarung
 P Zwischenliteratur
 T der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze

E . älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
 D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
 L : aus andern Gründen angeführtes Dokument
 & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument